

WO 2017/054895 A1



aus der Wärme des Arbeitsmediums vorgesehen ist, wobei im Arbeitskreislauf (2) ein Kondensator (7) zum Kühlen des Arbeitsmediums angeordnet ist, wobei im Arbeitskreislauf (2) zusätzlich ein Erdgas-Verdampfer (8) für verflüssigtes Erdgas (LNG) angeordnet ist, in dem das verflüssigte Erdgas (LNG) mittels des Arbeitsmediums erwärmbar und verdampfbar ist, und mittels dessen das Arbeitsmedium abkühlbar ist.

Vorrichtung zur Abwärmerückgewinnung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Abwärmerückgewinnung aus Verlustwärme einer Verbrennungskraftmaschine in einem Kraftfahrzeug.

Aus der US 7,900,451 B2 ist ein Energie- und Wiederverdampfungssystem auf Basis von verflüssigtem Erdgas bekannt, umfassend einen Verdampfer, durch den flüssiges Antriebsfluid verdampft wird, wobei dieses flüssige Antriebsfluid verflüssigtes Erdgas oder ein mittels verflüssigtem Erdgas verflüssigtes Antriebsfluid ist; eine Turbine zum Expandieren des verdampften Antriebsfluids und zum Erzeugen von Energie; ein Wärmetauschermedium, dem expandierter Antriebsfluid-Dampf zugeführt wird, wobei dem Wärmetauschermedium auch verflüssigtes Erdgas zugeführt wird, um Wärme aus dem expandierten Fluid-Dampf aufzunehmen, wobei die Temperatur des verflüssigten Erdgases sich erhöht, während es durch das Wärmetauschermedium fließt; eine Leitung, durch die das Antriebsfluid zumindest vom Einlass des Verdampfers zum Auslass des Wärmetauschermittels zirkuliert; und eine Leitung zum Übertragen von wiederverdampftem verflüssigten Erdgas.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine verbesserte Vorrichtung zur Abwärmerückgewinnung aus Verlustwärme einer Verbrennungskraftmaschine in einem Kraftfahrzeug anzugeben.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Abwärmerückgewinnung aus Verlustwärme einer

Verbrennungskraftmaschine in einem Kraftfahrzeug umfasst einen Arbeitskreislauf, in dem ein Arbeitsmedium zirkuliert, das unter Verwendung von Verlustwärme der Verbrennungskraftmaschine in mindestens einem Verdampfer erwärmbar und verdampfbar ist, wobei im Arbeitskreislauf eine Expansionsmaschine zur Gewinnung mechanischer Energie aus der Wärme des Arbeitsmediums vorgesehen ist, wobei im Arbeitskreislauf ein Kondensator zum Kühlen des Arbeitsmediums angeordnet ist. Erfindungsgemäß ist im Arbeitskreislauf zusätzlich ein Erdgas-Verdampfer für verflüssigtes Erdgas angeordnet, in dem das verflüssigte Erdgas mittels des Arbeitsmediums erwärmbar und verdampfbar ist, und mittels dessen das Arbeitsmedium abkühlbar ist.

Anstatt des verflüssigten Erdgases kann auch ein anderer tiefkalter bzw. kryogener Kraftstoff oder Betriebsstoff eingesetzt werden. Wenn in dieser Druckschrift von LNG oder verflüssigtem Erdgas die Rede ist, so sollen von diesen Begriffen auch diese vorgenannten Stoffe mit umfasst sein.

Verflüssigtes Erdgas für Verbrennungskraftmaschinen von Kraftfahrzeugen wird gewöhnlich bei einer Temperatur von $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder weniger vorgehalten. Vor der Verbrennung in der Verbrennungskraftmaschine wird das verflüssigte Erdgas im Erdgas-Verdampfer verdampft. Da dieser erfindungsgemäß im Arbeitskreislauf angeordnet ist, kühlt sich dadurch das Arbeitsmedium zusätzlich ab. Die Leistung des Dampfkreisprozesses, beispielsweise eines Clausius-Rankine-Prozesses, profitiert von einer niedrigen Temperatur der Wärmesenke, im vorliegenden Falle also des durch den Kondensator und den Erdgas-Verdampfer gebildeten Zweiges. Durch die zusätzliche Abkühlung kann daher die Leistungsfähigkeit der Vorrichtung zur Abwärmerückgewinnung gesteigert werden.

Beispielsweise kann durch den Erdgas-Verdampfer bei bestimmten Betriebspunkten eine Absenkung der Temperatur des Arbeitsmediums um etwa 20 K erfolgen. Dadurch lässt sich die potentielle Rückgewinnungsrate von etwa 5% auf beispielsweise etwa 6% erhöhen. Dies entspricht einer Verbesserung der Rückgewinnungsrate um 20%-Punkte.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Dabei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Vorrichtung zur Abwärmerückgewinnung mit einem Verdampfer für flüssiges Erdgas, und

Fig. 2 schematische T-S-Diagramme von Carnotprozessen bei verschiedenen Temperaturniveaus.

Figur 1 zeigt eine schematische Ansicht einer Vorrichtung 1 zur Abwärmerückgewinnung (Waste Heat Recovery), insbesondere Abgaswärmerückgewinnung (Exhaust Heat Recovery), aus Verlustwärme einer Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere in einem Kraftfahrzeug. Die Vorrichtung 1 umfasst einen Arbeitskreislauf 2, wobei Wärme mittels eines thermodynamischen Kreislaufs, beispielsweise eines Clausius Rankine Cycle oder Organic Rankine Cycle, in kinetische Energie umgewandelt wird. Dabei wird im Arbeitskreislauf 2 ein Arbeitsmedium durch eine Pumpe 3 zunächst auf eine höhere Drucklage verdichtet. Dann wird dem Arbeitsmedium in einem ersten Wärmetauscher oder ersten Verdampfer 4 und/oder in einem zweiten Wärmetauscher oder zweiten Verdampfer 5 Wärme zugeführt, um es zu verdampfen. Anschließend wird dieser unter hohem Druck stehende heiße Dampf über eine Expansionsmaschine 6 entspannt, wobei kinetische Energie über eine Welle abgegeben wird, welche dann zum Vortrieb eines Fahrzeugs beiträgt oder in elektrische Energie umgewandelt wird. Das Arbeitsmedium wird anschließend in einem Kondensator 7 zurück in die flüssige Phase kondensiert und abgekühlt. Hierfür kann der Kondensator 7 in einem Kühlmittelkreislauf 13 angeordnet oder durch Umgebungsluft gekühlt sein. Dem Kondensator 7 im Arbeitskreislauf 2 nachgelagert ist ein Erdgas-Verdampfer 8 für verflüssigtes Erdgas LNG angeordnet, in dem das verflüssigte Erdgas LNG mittels des Arbeitsmediums erwärmt und verdampft wird, wobei das Arbeitsmedium weiter abgekühlt wird, bevor es erneut der Pumpe 3 zugeführt wird. In einer beispielhaften Ausführungsform ist der erste Verdampfer 4 als ein Abgasnachbehandlungs-Verdampfer zur Gewinnung von Abwärme aus Abgasen A in einem Abgasnachbehandlungssystem 9 einer Verbrennungskraftmaschine 10 ausgebildet, dem ein Turbolader 11 vorgeschaltet sein kann, während der zweite Verdampfer 5 als ein Abgasrückführungs-Verdampfer zur Gewinnung von Abwärme aus einem Abgasrückführungssystem 12 ausgebildet sein kann.

In anderen Ausführungsformen kann der Arbeitskreislauf 2 auch nur einen Verdampfer 4, 5 zur Zuführung von Wärme aus Abgasen oder anderer Abwärme der Verbrennungskraftmaschine 10 aufweisen.

Die Abwärme der Verbrennungskraftmaschine 10 kann mittels der Vorrichtung 1 zur Abwärmerückgewinnung teilweise in nutzbare mechanische oder elektrische Energie rückgeführt werden. Der Anteil der rückgewinnbaren Abwärme hängt dabei von den in der Vorrichtung 1 zur Abwärmerückgewinnung herrschenden Temperaturen ab. Eine obere Betriebstemperatur im mindestens einen Verdampfer 4, 5 ist dabei durch einen Verbrennungsprozess in der Verbrennungskraftmaschine 10, das wärmeübertragende Medium (beispielsweise das Abgas A) und/oder eine Auslegung des Systems aus Verbrennungskraftmaschine 10 und Vorrichtung 1 zur Abwärmerückgewinnung gegeben. Es wird dabei angestrebt, die obere Betriebstemperatur möglichst hoch zu halten.

Eine untere Betriebstemperatur im Kondensator 7 hängt von der Kühlung, beispielsweise durch Kühlmittel oder Umgebungsluft, ab. Es wird angestrebt, die untere Betriebstemperatur möglichst niedrig zu halten. Ohne die zusätzliche Kühlung durch den Erdgas-Verdampfer 8 liegt das Kraftstoff-Einsparpotential, beispielsweise bei einem Dieselmotor, durch die Rückgewinnung der Abgaswärme beispielsweise in einem Bereich von 5%.

Verflüssigtes Erdgas LNG für Verbrennungskraftmaschinen 10 von Kraftfahrzeugen wird gewöhnlich bei einer Temperatur von $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder weniger vorgehalten. Vor der Verbrennung in der Verbrennungskraftmaschine 10 wird das verflüssigte Erdgas LNG im Erdgas-Verdampfer 8 verdampft. Dadurch kühlt sich das Arbeitsmedium zusätzlich ab, wodurch die Leistungsfähigkeit der Vorrichtung 1 zur Abwärmerückgewinnung steigt.

In einer beispielhaften Ausführungsform kann bei bestimmten Betriebspunkten eine Absenkung der Temperatur des Arbeitsmediums um etwa 20 K erfolgen. Dadurch lässt sich die potentielle Rückgewinnungsrate von etwa 5% auf beispielsweise etwa 6% erhöhen. Dies entspricht einer Verbesserung der Rückgewinnungsrate um 20%-Punkte.

In anderen, nicht dargestellten Ausführungsformen kann der Erdgas-Verdampfer 8 dem Kondensator 7 im Arbeitskreislauf 2 vorgelagert angeordnet sein.

In anderen, nicht dargestellten Ausführungsbeispielen kann lediglich der Erdgas-Verdampfer 8 ohne den Kondensator 7 zum Kühlen und Kondensieren des Arbeitsmediums angeordnet sein.

Figur 2 zeigt schematische T-S-Diagramme von Carnotprozessen bei verschiedenen Temperaturniveaus, wobei die Temperatur T über der Entropie S dargestellt ist.

Dargestellt sind die obere Betriebstemperatur T_1 und die untere Betriebstemperatur T_2 . Die zugeführte Wärme wird durch Q_{3-4} bezeichnet. Die von den Linien zwischen den Punkten P1, P2, P3, P4 umschlossene Fläche entspricht der in Arbeit umgewandelten Wärmemenge ΔQ . Die abgeführte Wärme wird durch Q_{1-2} bezeichnet. Im rechten Diagramm ist die obere Betriebstemperatur T_1 um die Differenz ΔT_1 gegenüber dem linken Diagramm erhöht und die untere Betriebstemperatur T_2 ist um die Differenz ΔT_2 gegenüber dem linken Diagramm verringert. Dadurch vergrößert sich die von den Linien zwischen den Punkten P1, P2, P3, P4 umschlossene Fläche und daher auch die in Arbeit umgewandelte Wärmemenge ΔQ .

Bezugszeichenliste

- 1 Vorrichtung zur Abwärmerückgewinnung
- 2 Arbeitskreislauf
- 3 Pumpe
- 4 erster Verdampfer
- 5 zweiter Verdampfer
- 6 Expansionsmaschine
- 7 Kondensator
- 8 Erdgas-Verdampfer
- 9 Abgasnachbehandlungssystem
- 10 Verbrennungskraftmaschine
- 11 Turbolader
- 12 Abgasrückführungssystem
- 13 Kühlmittelkreislauf

- A Abgas
- ΔQ Wärmemenge
- ΔT_1 Differenz
- ΔT_2 Differenz
- LNG verflüssigtes Erdgas
- P1 Punkt
- P2 Punkt
- P3 Punkt
- P4 Punkt
- Q_{1-2} abgeführte Wärme
- Q_{3-4} zugeführte Wärme
- S Entropie
- T Temperatur

T_1 obere Betriebstemperatur
 T_2 untere Betriebstemperatur

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur Abwärmerückgewinnung aus Verlustwärme einer Verbrennungskraftmaschine (10) in einem Kraftfahrzeug, umfassend einen Arbeitskreislauf (2), in dem ein Arbeitsmedium zirkuliert, das unter Verwendung von Verlustwärme der Verbrennungskraftmaschine (10) in mindestens einem Verdampfer (4, 5) erwärmbar und verdampfbar ist, wobei im Arbeitskreislauf (2) eine Expansionsmaschine (6) zur Gewinnung mechanischer Energie aus der Wärme des Arbeitsmediums vorgesehen ist, wobei im Arbeitskreislauf (2) ein Kondensator (7) zum Kühlen des Arbeitsmediums angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass im Arbeitskreislauf (2) zusätzlich ein Erdgas-Verdampfer (8) für verflüssigtes Erdgas (LNG) angeordnet ist, in dem das verflüssigte Erdgas (LNG) mittels des Arbeitsmediums erwärmbar und verdampfbar ist, und mittels dessen das Arbeitsmedium abkühlbar ist.
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Erdgas-Verdampfer (8) dem Kondensator (7) im Arbeitskreislauf (2) nachgelagert angeordnet ist.
3. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster Verdampfer (4) als ein Abgasnachbehandlungs-Verdampfer zur Gewinnung von Abwärme aus Abgasen (A) in einem Abgasnachbehandlungssystem (9) einer Verbrennungskraftmaschine (10) ausgebildet ist und dass ein zweiter Verdampfer (5) als ein Abgasrückführungs-Verdampfer zur Gewinnung von Abwärme aus einem Abgasrückführungssystem (12) ausgebildet ist.

4. Vorrichtung (1) nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass der erste Verdampfer (4) und der zweite Verdampfer (5)
einander in Arbeitskreislauf (2) parallel geschaltet sind.

1/2

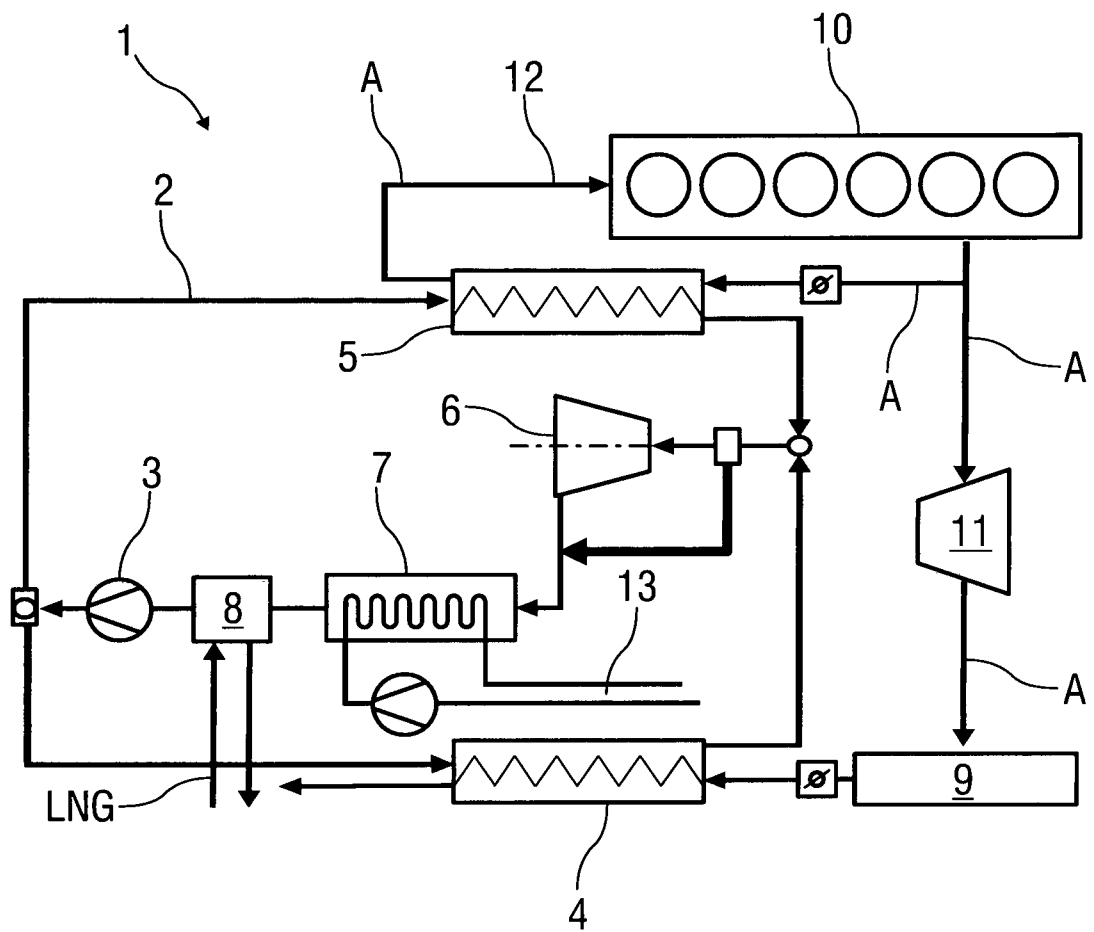


FIG 1

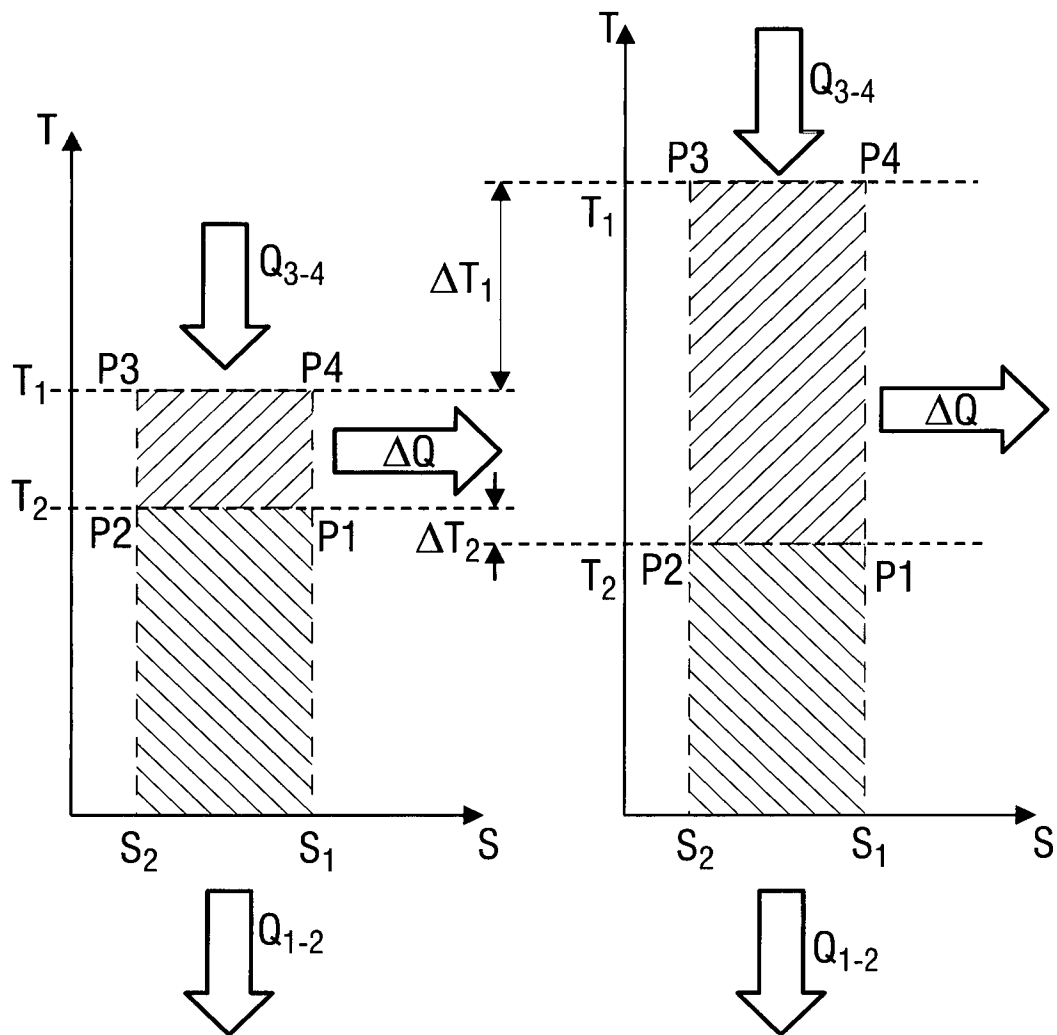


FIG 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/001360

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F01N5/02
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2012/042656 A1 (DONNELLY FRANK WEGNER [CA] ET AL) 23 February 2012 (2012-02-23) paragraph [0003]; figure 1 -----	1-4
X	EP 1 066 452 A1 (EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO [US]) 10 January 2001 (2001-01-10) abstract; figure 1 -----	1,3,4



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 September 2016

Date of mailing of the international search report

06/10/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Seifert, Marco

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/001360

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2012042656 A1	23-02-2012	US 2012042656 A1	23-02-2012
		WO 2012024683 A1	23-02-2012

EP 1066452 A1	10-01-2001	AU 3195699 A	18-10-1999
		BR 9909177 A	05-12-2000
		CN 1295647 A	16-05-2001
		EP 1066452 A1	10-01-2001
		HR P20000630 A2	30-04-2001
		ID 28330 A	10-05-2001
		IL 138557 A	17-09-2003
		JP 2002510010 A	02-04-2002
		TR 200002793 T2	21-12-2000
		TW 414851 B	11-12-2000
		US 6116031 A	12-09-2000
		WO 9950536 A1	07-10-1999

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F01N5/02
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F01N

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2012/042656 A1 (DONNELLY FRANK WEGNER [CA] ET AL) 23. Februar 2012 (2012-02-23) Absatz [0003]; Abbildung 1 -----	1-4
X	EP 1 066 452 A1 (EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO [US]) 10. Januar 2001 (2001-01-10) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1,3,4



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. September 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/10/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Seifert, Marco

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/001360

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
US 2012042656	A1	23-02-2012	US	2012042656	A1	23-02-2012		
			WO	2012024683	A1	23-02-2012		

EP 1066452	A1	10-01-2001	AU	3195699	A	18-10-1999		
			BR	9909177	A	05-12-2000		
			CN	1295647	A	16-05-2001		
			EP	1066452	A1	10-01-2001		
			HR	P20000630	A2	30-04-2001		
			ID	28330	A	10-05-2001		
			IL	138557	A	17-09-2003		
			JP	2002510010	A	02-04-2002		
			TR	200002793	T2	21-12-2000		
			TW	414851	B	11-12-2000		
			US	6116031	A	12-09-2000		
			WO	9950536	A1	07-10-1999		
